

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) EP 1 014 054 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
28.06.2000 Patentblatt 2000/26

(51) Int. Cl.⁷: G01H 1/00

(21) Anmeldenummer: 99125687.6

(22) Anmeldetag: 22.12.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 24.12.1998 DE 19860333

(71) Anmelder: Schenck Vibro GmbH
64293 Darmstadt (DE)

(72) Erfinder:
• Zöllner, Rolf, Dr.
64380 Rossdorf (DE)
• Reine, Frank, Dr.
60594 Frankfurt am Main (DE)
• Weigel, Manfred, Dr.
64846 Gross-Zimmern (DE)

(74) Vertreter:
Behrens, Helmut, Dipl.-Ing.
Im Tiefen See 45 a
64293 Darmstadt (DE)

(54) Verfahren zur modellbasierten schwingungsdiagnostischen Überwachung rotierenden Maschinen

(57) Bei einem Verfahren zur schwingungsdiagnostischen Überwachung rotierender Maschinen sollen die Zusammenhänge zwischen Schwingungsverhalten der Maschine und Betriebsparametern bei Reduktion des Aufwandes exakter zu bestimmen sein. Dies wird durch ein modellbasiertes Verfahren, das mehrere Schritte der Modellbildung umfaßt, erreicht.

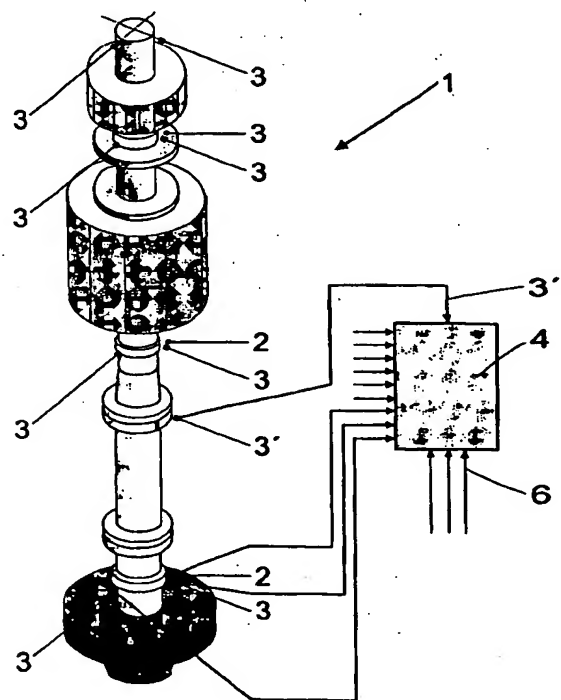


Fig. 1

[0013] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zur modellbasierten schwingungsdiagnostischen Überwachung rotierender Maschinen wird es möglich, automatisch Abhängigkeiten der Schwingungen von Betriebsparametern zu ermitteln und anzuzeigen. Dies führt nicht nur zur erheblichen Reduktion der Datenmengen, die bei der bisherigen Überwachung gespeichert werden mußten, sondern gibt auch einen besseren Aufschluß über die Ursachen der Schwingungen. Veränderungen des Maschinenzustandes werden besser erkannt. Durch optimierte Einstellung der Betriebsparameter kann ein schwingungsärmerer Betrieb der Maschinen erreicht werden.

[0014] In einer Weiterentwicklung des Erfindungsgedankens ist vorgesehen, daß bei der Bewertung der relativen Abweichung der Schwingungsgrößen für alle Betriebsregime und Betriebszustände wenige oder ein einziger Kennwert vorgegeben wird. Hierdurch wird eine drastische Reduktion der sonst nötigen Anzahl von Grenzwerten für die Überwachung des Maschinenzustandes erreicht.

[0015] Die vorliegende Erfindung wird anhand der schwingungsdiagnostischen Überwachung eines Pumpspeichersatzes näher erläutert.

[0016] Es zeigen:

Fig. 1: eine schematische Darstellung des Wellenstrangs eines Pumpspeichersatzes mit den Meßstellen und der Datenverarbeitungseinheit;

Fig. 2: eine Darstellung der Lernphase in einem Blockschaltbild ;

Fig. 3: eine Darstellung der Betriebsphase in einem Blockschaltbild.

[0017] In Fig. 1 ist schematisch der Wellenstrang 1 eines Pumpspeichersatzes mit den Meßstellen zur Schwingungsmessung dargestellt. Den Lagerstellen und den Meßebenen für Wellenschwingungsmessungen sind jeweils Aufnehmer 2, 3 zur Erfassung von Schwingungssignalen zugeordnet. Die an den Meßstellen über die Aufnehmer 2, 3 ermittelten Schwingungssignale werden an eine Datenverarbeitungseinheit 4 weitergeleitet (dargestellt durch Pfeile 5). Gleichzeitig wird vom Wellenstrang 1 mittels Referenzaufnehmer 3' ein Referenzsignal 3'' (ein Impuls pro Maschinenumdrehung) abgeleitet und der Datenverarbeitungseinheit 4 zugeführt. Zusätzlich sind eine Vielzahl von Aufnehmern vorgesehen, die die unterschiedlichen Betriebsparameter, wie beispielsweise Leistung, Erregerstrom, Drücke und Temperaturen, erfassen. Die Meßsignale für die Betriebsparameter werden ebenfalls an die Datenverarbeitungseinheit 4 weitergeleitet (dargestellt durch Pfeile 6). In der Datenverarbeitungseinheit 4 werden aus den Schwingungssignalen 5 und gegebenenfalls aus den Referenzsignalen 3'' Schwingungsgrößen 5' ermittelt und abgespeichert oder zwischengespeichert. Gleichzeitig werden auch die Meßwerte für die Betriebsparameter 6' abgespeichert.

[0018] Grundlage des erfindungsgemäßen modellbasierten Verfahrens zur schwingungsdiagnostischen Überwachung bildet zunächst die Lernphase die in Fig. 2 schematisch dargestellt ist und in der eine Modellbildung in mehreren Schritten erfolgt.

[0019] Erstes Ziel der Modellbildung ist es festzustellen, ob alle Betriebsparameter meßtechnisch erfaßt sind, die das Schwingungsverhalten der Maschine entscheidend beeinflussen. Dies läßt sich durch Vorhersage der Schwingungsgrößen alleine aus den Betriebsparametern überprüfen. Ist es möglich, mit einer einfachen Abbildungsvorschrift aus den Parameterwerten hinreichend genau auf die Schwingungsgrößen zu schließen, so sind die gesuchten Informationen in den Daten repräsentiert. Dazu wird der Ansatz

$$\hat{y}_i = \hat{F}(x_i)$$

gemacht, wobei F die Modellfunktion bezeichnet. Ein möglicher Ansatz für F ist eine Linearkombination von i.a. nichtlinearen Basisfunktionen. Das Modell für einen Datenpunkt der Zielgröße $y_i = y(it_s)$ (t_s : Abtastzeit) für einen beliebigen Zustandsvektor x_i ist dann gegeben durch

$$\hat{y}_i = \sum_j^M a_j X_j(x_i)$$

wobei X_j eine Basisfunktion des Modells darstellt.

[0020] In der Lernphase werden zunächst alle gemessenen und in der Datenverarbeitungseinheit gespeicherten Betriebsparameter 6' einer Vorwärtsauswahl-Einheit 7 übermittelt. Weiterhin werden die Schwingungsgrößen 5' übermittelt. Es wird zunächst von einem linearen Vorhersagemodell ausgegangen, das die zum Zustandsvektor $x(i) = (x_1(i), x_2(i), \dots, x_d(i))$ zusammengefaßten Betriebsparameter 6' durch Linearkombination von dessen Komponenten

ab einer kritischen Anzahl wieder an, da der Fehler zwischen den Datensätzen der Trainingsmenge zunimmt (Overfitting). Diese Eigenschaft wird zur Auswahl relevanter Terme genutzt.

[0028] Nachd m durch die Auswahl von geeigneten Betriebsparametern in der Vorwärtsauswahl-Einheit 7 eine Beschränkung auf einige wenige Größen 8 erfolgte, kann mit diesen in dem Polynomgenerator 9 eine erneute Modellbildung erfolgen, bei der ein nichtlineares und damit leistungsfähigeres Modell zum Einsatz kommt. Dieses Modell liefert dann die gewünschten funktionalen Zusammenhänge zwischen Schwingungsgrößen und Betriebsparametern.

[0029] Bei thermischen Turbomaschinen haben häufig die beiden Termen Wirkleistung ($P(t)$) und Erregerstrom ($I(t)$) die größte Relevanz.

[0030] Der allgemeine Ansatz eines Polynomialmodells der Ordnung 2 lautet:

$$\hat{s}(t) = a_0 + a_1 P(t) + a_2 P(t)^2 + a_3 I(t) + a_4 I(t)^2 + a_5 P(t) I(t) = \sum_{j=1}^6 a_j X_j(P(t), I(t))$$

[0031] Die Auswahl der relevanten Terme innerhalb dieses Modells erfolgt wieder mittels des bereits beschriebenen Verfahrens der Vorwärtsauswahl in der Vorwärtsauswahl-Einheit 11 und liefert einen kompakten, formelmäßigen Zusammenhang (wird nachfolgend als optimiertes Modell 12 bezeichnet) zwischen Schwingungsgrößen und den Betriebsparametern:

$$\hat{s}(t) = a_0 + a_1 P(t) + a_1 I(t)^2$$

[0032] Die Ermittlung der Werte für die Modellparameter $a_0, a_1 + a_2$ 14 erfolgt in der Least-Square Parameter Schätzungseinheit 13.

[0033] Ist die Modellfindung- und Bildung aus der Lernphase abgeschlossen, beginnt die Betriebsphase des Verfahrens. Die Betriebsphase ist schematisch anhand von Fig. 3 dargestellt. In dieser werden lediglich die zuvor ausgewählten Betriebsparameter 8 an das in der Lernphase optimierte Modell 12 übergeben. In der Recheneinheit 15 erfolgt dann die Vorgersage der Schwingungsgrößen nach dem oben beschriebenen Modellansatz unter Berücksichtigung der optimalen Modellparameter 14, die ebenfalls der Recheneinheit 15 zugeführt werden. Die vorhergesagten Schwingungsgrößen 16 werden einer Vergleichseinheit 17 zugeführt. Weiterhin werden die aktuell gemessenen Schwingungsgrößen 5 der Vergleichseinheit 17 zugeführt.

[0034] Ein Vergleich der vorhergesagten Schwingungsgrößen 16 mit den tatsächlich gemessenen Schwingungsgrößen 5 liefert zu jedem Zeitpunkt ein Maß für die Übereinstimmung zwischen Maschine und Modell und ist damit relevant für die Diagnose. Dabei ist der Betrag der relativen Abweichung ein Maß für signifikante Veränderungen des Maschinenzustandes. Dieser Wert kann als Ausgangswert 18 der Vergleichseinheit 17 einer Grenzwertvergleichseinheit 19 zugeführt werden. In der Grenzwertvergleichseinheit erfolgt der Vergleich der selektiven Abweichung 18 mit den vorgegebenen Grenzwerten 20. Es kann sich dabei um einige wenige oder nur um einen einzigen relativen Grenzwert handeln. Überschreitet die relative Abweichung 18 die vorgegebenen Grenzwerte 20, erfolgt die Abgabe eines Signals 21. Dieses kann z. B. für eine Alarmmeldung oder eine Datenarchivierung genutzt werden.

[0035] Das zuvor beschriebene erfindungsgemäße Verfahren eignet sich nun in einer weiteren Ausgestaltung dazu, Zusammenhänge anzugeben, die in gleichartigen Betriebsphasen isoliert gelten. Beispiele sind Vollastphasen, Schwachlastphasen oder Fehlerzustände. Dies macht es notwendig, die Datenmenge in natürliche Klassen einzuteilen, was hier automatisiert erfolgen kann. Dazu werden die Betriebsparameter einem Fuzzy-C-Means Clustering unterzogen (M.P. Windham "Geometrical fuzzy clustering algorithms", Fuzzy Sets and Systems, 10; 271-279, 1983). Dieses Verfahren führt zur Einteilung der Daten in n Klassen, wobei n je nach Anwendungsfall geeignet vorzugeben ist. Es erfolgt hiermit eine Segmentierung des Zeitbereichs in Segmente, in denen eine weitgehend stationäre Betriebsphase vorliegt. Die Modellierung erfolgt dann im weiteren innerhalb der Segmente und liefert die Zusammenhänge getrennt für jede Betriebsphase. Dies hat den Vorteil, Abhängigkeiten erkennen zu können, die lediglich in einer oder wenigen Betriebsphasen vorliegen, und Handlungsweisen speziell für diese Betriebsphasen (z.B. Vollastphase) ableiten zu können.

Patentansprüche

1. Verfahren zur modellbasierten schwingungsdiagnostischen Überwachung rotierender Maschinen, bei dem in einer Lernphase zunächst Schwingungsgrößen und Betriebsparameter erfaßt und gespeichert werden und anschließend eine Modellbildung in mehreren Schritten erfolgt, wobei zuerst anhand eines einfachen, beispielsweise linearen Modells die zum Zustandsvektor $x(i)$ zusammengefaßten Betriebsparameter durch Linearkombination von dessen Komponenten auf die Schwingungsgrößen $y(i)$ abgebildet werden und durch Vergleich der gemessenen

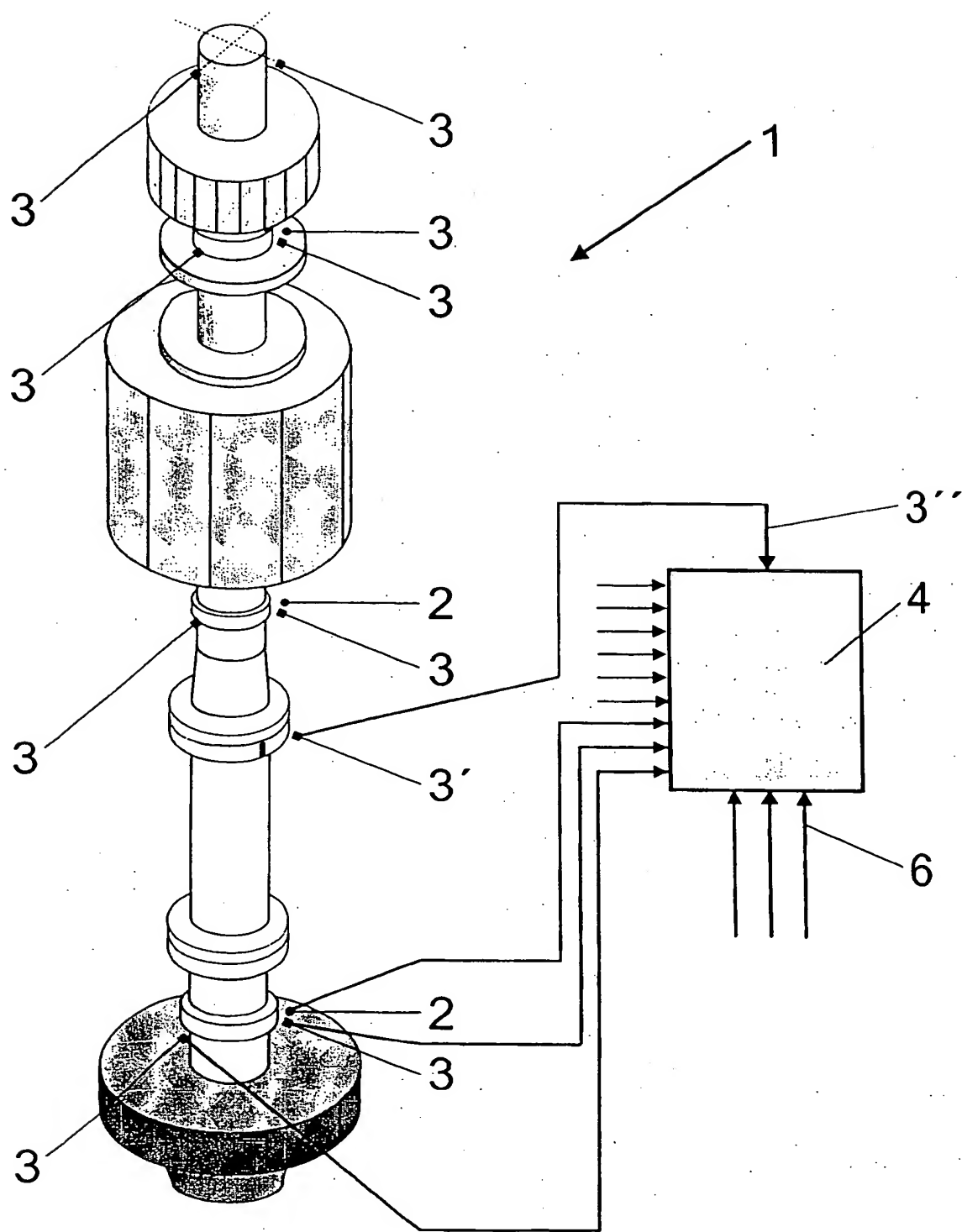


Fig. 1

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Offic uropéen des brevets



(11)

EP 1 014 054 A3

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(88) Veröffentlichungstag A3:
16.05.2001 Patentblatt 2001/20

(51) Int. Cl.⁷: G01H 1/00, G06F 17/40

(43) Veröffentlichungstag A2:
28.06.2000 Patentblatt 2000/26

(21) Anmeldenummer: 99125687.6

(22) Anmeldetag: 22.12.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 24.12.1998 DE 19860333

(71) Anmelder: Schenck Vibro GmbH
64293 Darmstadt (DE)

(72) Erfinder:
• Zöller, Rolf, Dr.
64380 Rossdorf (DE)
• Reine, Frank, Dr.
60594 Frankfurt am Main (DE)
• Weigel, Manfred, Dr.
64846 Gross-Zimmern (DE)

(74) Vertreter:
Behrens, Helmut, Dipl.-Ing.
Im Tiefen See 45 a
64293 Darmstadt (DE)

(54) **Verfahren zur modellbasierten schwingungsdiagnostischen Überwachung rotierenden Maschinen**

(57) Bei einem Verfahren zur schwingungsdiagnostischen Überwachung rotierender Maschinen sollen die Zusammenhänge zwischen Schwingungsverhalten der Maschine und Betriebsparametern bei Reduktion des Aufwandes exakter zu bestimmen sein. Dies wird durch ein modellbasiertes Verfahren, das mehrere Schritte der Modellbildung umfaßt, erreicht.

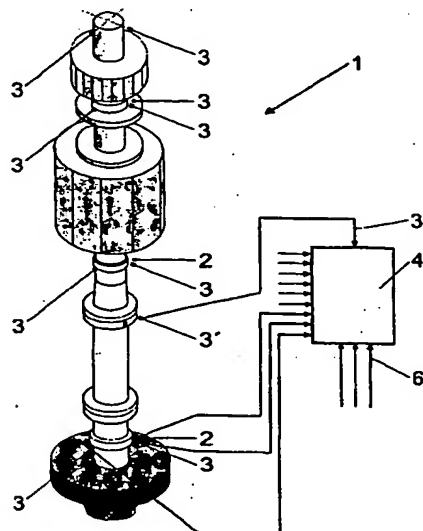


Fig. 1

EP 1 014 054 A3

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 99 12 5687

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

21-03-2001

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 3725123	A	28-04-1988	DD	255588 A	06-04-1988
EP 0933622	A	04-08-1999	DE	19803956 A	05-08-1999
US 5748508	A	05-05-1998	DE	4243882 C	05-01-1994
			DE	59306295 D	28-05-1997
			DK	676070 T	03-11-1997
			WO	9415268 A	07-07-1994
			EP	0676070 A	11-10-1995
			JP	8505249 T	04-06-1996
DE 19707173	C	23-07-1998	BR	9800742 A	24-10-2000
			EP	0860761 A	26-08-1998
			JP	10281860 A	23-10-1998
			US	6144923 A	07-11-2000
US 5408863	A	25-04-1995	KEINE		

EPO FORM P0481

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82